

# Как избежать в условиях санкций технологического «суицида» в отечественной электронике?

Александр Гордеев (г. Ульяновск)

Правительство РФ в ускоренном порядке подготовило концепцию нового национального проекта в области электроники с предполагаемым выделением на его реализацию 3,19 трлн руб. и на «технологический продукт» – 1,14 трлн руб. (~\$14,25 млрд) в частности. Работа запланирована по четырём направлениям: продукт, инфраструктура, спрос, кадры.

В СМИ отмечается, что программа по реинжинирингу зарубежных решений и по переносу «зарубежного производства» в РФ и на соседнюю территорию, а также созданию нового электронного машиностроения с достижением целей по 100% импортозамещению по всем направлениям электроники должна быть выполнена к 2024 году. В 2024 году также планируется завершить формирование продуктового портфеля российских технологий. Одной из приоритетных целей является серийный выпуск отечественных микропроцессоров по технологии 28 нанометров, т.е. на технологическом уровне 2010 года таких фирм, как Intel, IBM, Samsung, TSMC.

Напомню, что в современных смартфонах Samsung и Apple, имеющих на российском рынке, используются чипсеты с технологией 5 нанометров, и что к 2030 году в смартфонах и айфонах будут использоваться 1–3-нанометровые микропроцессоры.

## I. Рынок

Мировой рынок полупроводников в текущем году превысит \$450 млрд, из них ~70% приходится на цифровые системы, ~8% – на силовую электронику, ~6–7% – на СВЧ-приборостроение, около 5% – на фотонику и оптоэлектронику.

Рынок конечных электронных систем и устройств колеблется между \$1,5...2,0 трлн (эквивалент ВВП РФ), в частности, смартфонов – около \$400 млрд.

Драйверами полупроводникового производства являются терагерцовые цифровые сети, 6G (GSM), искусственный интеллект, электроавтопром, беспилотники, квантовая медицина, банковский безлюдный сектор, системы безопасности, военная электроника, зелёная энергетика.

Доля России на мировом рынке в 2020 году составляла ~0,4%, в 2022 году (по прогнозу) она снизится до 0,25%. На сегодня нам закрыт импорт технологического оборудования, запчастей, материалов (в частности, кремния диаметром 200 мм и выше), электронных резистов (ПММА), химии, прекурсоров, корпусных деталей, испытательного оборудования и др.

## II. Оценка технологического уровня отечественной электроники

Серийный уровень – 95 нм («Микрон»); уровень разработок – 65 нм («Микрон»); 40 нм (НИИ СВЧ РАН).

Этого, в принципе, достаточно для вновь создаваемых оборонительных систем из-за «интерфейсного» пользователя и уровня его реакции (например, в боевой авиации). Ниже 100 нм резко снижается радиационная стойкость цифровых и аналоговых приборов, возрастает риск сбоя от ЭМИ- и РЭБ-факторов.

Россия обладает единичными экземплярами зарубежных литографов с разрешением до 10 нанометров.

Но следует понимать, что возникли огромные технологические трудности в масочной фотолитографии, в частности, отсутствие высокочувствительных к электронному пучку резистов (ПММА), без чего 65 или даже 40 нанометров реализовать невозможно, поскольку качественного отечественного производства нет.

У нас нет не только производства монокристаллического кремния Ø200 мм, но и присутствуют проблемы с произ-

водством бездислокационного кремния зонной плавки Ø150 мм (НИИП, г. Лыткарино), нет монокристаллов – слитков карбида кремния, плохо обстоят дела с эпитаксией кремния (отсутствие качественных моно- и дихлорсиланов), да и в выращивании эпитаксиальных гетерослоев  $A_{III}B_{IV}$ ,  $A_{IV}B_{IV}/A_{IV}$ ,  $A_{III}B_{VI}$  множество проблем.

Появляется потенциальная угроза производству фотошаблонов с маскирующими слоями из-за отсутствия фотостекла.

Проблем много. И в условиях жесточайшего санкционного прессинга необходимо переосмыслить стратегию развития электронной отрасли РФ, начиная со срочных законодательных актов по структурной перестройке отрасли, т.е. через создание МЭП РФ (в правительстве зародилась такая здоровая идея), включая выявление критически важных технологических прорывных технологий с элементами национальной монополии в отдельных сегментах мирового рынка, а также кадровую безопасность.

## III. Стратегия развития

Что такое «стратегия» в нашем восприятии? «Искусство побеждать» или что-то другое, свойственное только нам?

Принятые и утверждённые «Стратегия развития электронной промышленности России на период до 2025 гг.» (август 2007 г.), ФЦП «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники на 2008–2015 гг.» (постановление Правительства России от 26.10.2007 № 809), позже «Программа импортозамещения», Приказ Минпромторга от 31.03.2015 № 662 не достигли запланированных показателей. И, как итог, вице-премьер Ю.И. Борисов на конференции «Электроника в России: будущее отрасли» в Москве в декабре 2019 г. подчеркнул: «...Мы даже не присутствуем в мировой статистике».

Утверждённая новая «Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года» от 17.01.2020 № 20-р имеет

потолочный параметр (выдержка из стратегии): «Разработка изделий по кремниевой технологии с топологической нормой 5 нм с последующим выпуском изделий на их основе на зарубежных фабриках и переносом производств в Российскую Федерацию...» (необходимо отметить, что промышленное производство 5-нанометровых микропроцессоров на фирмах TSMC, Samsung налажено в 2019 году).

Выводы по целям и задачам Новой стратегии может сделать каждый (в зависимости от степени профессионализма в электронной отрасли).

В январе 2020 года Ю.И. Борисов подчеркнул необходимость строительства двух новых фабрик мирового класса. Уместно отметить, что 5-нанометровая технология стоит никак не меньше \$15 млрд, а разрабатываемая в настоящее время 3-нанометровая топологическая технология – от \$20 млрд. К 2025 году TSMC планирует взять рубеж до 1 нанометра (т.е. от 200 млрд транзисторов на один чип). К 2030 году TSMC освоит субнаноразмерность в 3D MOSFET, т.е. соразмерность с постоянной решётки, предположим, GaAs (0,56 нм), с вероятностью объёма инвестиций около \$50 млрд. Другими словами, для успешного достижения мирового уровня необходимо инвестировать ежегодно до 1/2 оборонного бюджета, что, конечно, проблематично. То есть в результате принятой Стратегии Россия окажется в числе технологически отсталых стран?

Естественно, необходим выход, поскольку на кону национальный суверенитет и национальная безопасность. Выход, конечно, есть.

На примере ситуации, сложившейся в отечественном автопроме (возвращение на ВАЗе к производству «пятнашки» из «запасников» прошлого века), гражданской авиации, Роскосмосе («Сфера-М»), цифровых системах и других отраслях, становится очевидным, что общепринятая стратегическая схема развития отечественной электроники нуждается в фундаментальной корректировке. Нужно отказываться от «походов в историю» (импортозамещение) и необходимо вводить новые стратегические методы.

1. В недрах правительства зреет здоровая идея: создать МЭП РФ.
2. Нужно привлечь новые, профессиональные интеллектуальные ресурсы по созданию национальной программы развития отечественной экстремальной электроники до 2030 года.

3. В новой Программе необходимо обозначить цели и задачи с достижением надмирового уровня, с опережением на 5–7 лет технологических достижений стран G7 и Китая (без таких целей говорить о державности, гарантиях и прочности национальной безопасности просто бессмысленно).

4. «Сквозные» проекты М.В. Мишустина – это идеологическая и практическая находка, но их необходимо увязать с программой развития отечественной экстремальной электроники, фотоники и фооники, опережающей мировой уровень, т.е. сделать их конкурентоспособными или, во многих случаях, внеконкурентными на мировом рынке, т.е. создать предпосылки для разработки «Программы импортозамещения» уже в обратном порядке для Нового и Старого Света.

5. Заменить идеологию и стратегию импортозамещения на идеологию национального лидерства в важнейших технологических сегментах мирового рынка, в том числе через создание мощного пакета интеллектуальной собственности (напомним, что иск к РФ в рамках импортозамещения в \$290 млрд – это только «первая ласточка», всё ещё впереди).

6. Конечно, необходимы сильные законодательные акты, к примеру, изменение Патентного закона РФ, создание закона «Об инновациях» (об этом законе в РФ практически никто, кроме узких кругов специалистов, понятия не имеет), внести изменения в устаревший, не отвечающий требованиям времени закон № 44-ФЗ (от 05.04.2013, в ред. от 16.04.2022) «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» не на платформе «плагиата/импортозамещения», а на основе опережения зарубежного уровня.

7. Резко усилить роль государства в развитии отечественной электронной индустрии (как могут конкурировать в одинаковый период времени 1,14 трлн рублей финансирования в РФ с \$1,4 трлн господдержки в Китае? Как?!

#### **IV. Предпосылки и фундаментальные основы для новой Стратегии и Программы развития отечественной электроники до 2030 года**

На основании публикации «Как завоевать мировой рынок электроники в посткремниевую эпоху?» [1] мною раз-

работан проект «Центр экстремальной электроники, фотоники и фооники», который (по моей версии) может являться основой программы опережения мирового уровня – «Ответка-Э». Проект направлен губернатору Ульяновской области А.Ю. Русских на предмет анализа возможности создания с участием Правительства РФ в Левобережье г. Ульяновска новой электронной Приволжской технологической долины с потенциалом, превосходящим известную Кремниевую долину в Калифорнии (США).

Проект также представлен на анализ в АО «Концерн радиостроения «Вега» (фактически являющегося модератором одного из важнейших сегментов проекта). Концерн «Вега», обладающий одним из лучших в Европе технологическим участком 3D-сборки для радиофотоники, планировал выполнить на основе LPE GaAs глубокую модернизацию комплекса ДРЛО. Большой интерес к проекту есть также в КТРВ, Центре поддержки инвестиционных проектов МГТУ им. Н.Э. Баумана. Часть проекта была представлена на Международном военно-техническом форуме «Армия-2021» в Кубинке под патронажем заместителя председателя ВПК, где вызвала большой интерес, а также на совещании главных конструкторов РКС. К проекту позитивно отнеслось корпоративное НТС одной из фирм по поручению руководства АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей». «Росатом» изучает потенциальные и практические стартаповские шаги по частичной реализации проекта.

Проект вызвал большой интерес на региональном НТС в области электроники в Ростовской области. Частично (терагерцовая энергетика и комнатная сверхпроводимость) проект был озвучен на Президиуме РАН. Проект находится на рассмотрении в комитете по науке и образованию Госдумы. Со стартаповской частью проекта ознакомлен вице-премьер правительства.

Проект привлёк внимание некоторых финансовых кругов Арабского мира. По стопам проекта сильные технологические шаги сделала Германия (компания «3-5 Power Electronics GmbH»).

#### **Цель проекта**

Цель проекта «Центр экстремальной электроники, фотоники и фооники» – разработка и массовое производство в рамках ФЦП нового эволюционного направления в электронике: высоко-

Новые материалы под ФЦП на основе отечественных технологий

№ п/п	Кристалл	Применение	Ширина запрещённой зоны, эВ	$\mu_n$ см <sup>2</sup> /В·с	T <sub>p</sub> , °С (ЭКБ)
1	LPE GaAs (1a, 1б)	2, 3, 4, 6, 7, 8	1,43	7800	300
2	LPE GaP (1a, 1б)	4, 5, 6, 7	2,27	250	470
3	3C/Si (1a)	3, 4, 8, 9	2,4	–	300
4	GaN (тринитридный) (1a, 1б)	2, 3, 4, 5, 6, 7	3,4	До 2000	700
5	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1a, 1б)	4, 6, 7	4,9	< 300	900
6	AlN (тринитридный) (1б)	4, 5, 6, 7	5,5	–	1100
7	Diamond (C) (1a, 1б)		5,5	20 000 (mp)	1100
8	BN (1a, 1б)	3, 5	6,4	–	1300
9	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1б)	4, 6, 7	До 8,2	–	1700

температурной, радиационно-стойкой, гиперскоростной электронной, фотонной и фононной продукции.

**Задачи**

1. Увеличение доли отечественной ЭКБ на мировом рынке на порядок.
2. Реализация как минимум трёх сквозных проектов с потенциалом ниш мирового рынка в 1 триллион долларов, а именно:
  - 6G, в том числе мини-спутниковый широкополосный Интернет со скоростями до 100 Гбит/с;
  - 7G, в том числе мини-спутниковый широкополосный Интернет со скоростями до 2–3 Тбит/с;
  - магнитодинамический терагерцовый сверхэкономичный ДВС-автомобиль;
  - терагерцовые бифотонно-фононные суперкомпьютеры планшетного типа;
  - «черноволновая» система распознавания образов в собственном терагерцовом излучении для искусственного интеллекта и безопасности;
  - другие.

Отличительная особенность опережающей мировой уровень новой ФЦП от предыдущих Стратегий, программы импортозамещения (План мероприятий по импортозамещению от 31.03.2015 г. к приказу Минпромторга № 662, где под п. 75 значилось освоение собственного производства микропроцессора 1891BM12Я с проектной нормой 28 нанометров/2021 г. с запуском новой, по факту «аварийной» Программы в апреле 2022 – январе 2024 г.) состоит в том, что она выстраивается на фундаментальной науке и практических технологиях отечественного происхождения без копирования импортных аналогов.

Новая ФЦП должна стать «технологическим учебником» для стран 7G и Китая. В основе новых физических разработок, уникальных физических

принципов для создания новых электронных, фотонных и фононных продуктов лежит «сшивание» зонной и релятивистской теорий транспорта и генерации электромагнитной энергии, теории квантовой надсветовой телепортации, фононной телепортации энергии, скин-фазового переноса энергии, квантово-точечной энергетике Пойнтинга, авторская физика мультizonной проводимости (эффект водородоподобного расщепления запрещённой зоны), моды Блоха, торможение/ускорение электромагнитной энергии в твёрдых телах, терагерцовый эффект поляризационной катастрофы (динамическая комнатная сверхпроводимость по Клаузиусу–Моссотти), эффекты отрицательных наноемкостей и наноиндуктивностей, циклоидный перенос носителей заряда, одновременные дырочная и электронная рекомбинации с взаимно скомпенсированными модами Блоха и многое другое, в том числе такая «экзотика», как коэффициент усиления по току в транзисторе в схеме с общей базой 10...100 ( $h_{21B}$ ), что противоречит всем канонам теории зонной проводимости, переосмысление корпускулярной модели атома по Резерфорду–Бору на принципах Гейзенберга, построение петагерцовой электроники на принципах не оптической, а собственной запрещённой зоны ядро – s, p уровни – твёрдовакуумное межатомное пространство (от десятков электронвольт) – на основе физики твёрдого вакуума по Ричарду Фейнману и другие.

Другими словами, всё вышесказанное – это постепенная замена зонной теории проводимости на релятивистскую.

Соответственно, должно быть и переосмысление идеологии уже устаревшей зонной (полупроводниковой) теории проводимости на релятивистскую модуляцию, генерацию транспорта электромагнитной энергии в

твёрдых телах или, точнее, в твёрдом вакууме (если по Нильсу Борю подсчитать удельную долю объёма элементарных частиц – нуклонов и электронов, – то она окажется в пределах ~ 10<sup>-10</sup>% от нормированного/единичного объема, допустим, V = 1,0 см<sup>3</sup>).

Основные направления работы Проекта и предполагаемой ФЦП «Ответка-Э» следующие:

- новые, не известные на рынке материалы: полупроводник (1a), диэлектрик (1б) (см. таблицу);
- силовая гиперчастотная ЭКБ (2);
- СВЧ-приборы нового поколения (3);
- терагерцовые аналоговые и цифровые приборы (4);
- петагерцовые приборы (5);
- аналоговая и цифровая фотоника (6);
- аналоговая и цифровая фононика (7);
- магнотроника (8);
- комнатная (до +120°C) сверхпроводимость (9).

**V. Сквозные проекты на основе ФЦП «Ответка-Э» с тремя сегментами мирового рынка с потенциалом до \$1 трлн (краткое описание)**

**5.1. 6G и мини-спутники с «магнитной подвеской»**

Системы 6G будут выполнены в окнах прозрачности атмосферы на частотах 240...320 ГГц ( $\lambda = 1,25 \pm 0,94$  мм) на основе нового поколения LPE/MOCVD – GaAs униполярно-инжекционной, зонно-релятивистской и циклоидной, по дрейфовому пролёту, ЭКБ. Базовые станции на магнетронах.

Мини-спутниковое бортовое энергообеспечение будет выполнено на основе солнечных радиационно-стойких батарей с удвоенным КПД в сравнении с кремниевыми. Двигатели – гибридные, а именно: ионно-криптоновые и, в перспективе, с «магнитной подвеской». Скорости – от 100 Гбит/с.

**5.2. 7G и мини-спутниковый широкополосный Интернет**

Физические основы терагерцовой электроники в окнах прозрачности атмосферы 5,0...7,5 ТГц подробно изложены в [2], [3], [4], [5].

В принципе, архитектура цифровой системы 7G будет аналогичной 6G, с той лишь разницей, что генераторы частот, управляемые напряжением, усилительные приёмо-передающие тракты, цифровые системы будут выполнены на основе поляризованных диэлектриков A<sub>III</sub>B<sub>V</sub>, A<sub>III</sub>B<sub>VI</sub> и терагерцовой генерации (синтезатор

частот), а объёмно-акустические фильтры будут созданы на гетероструктурах  $A_{IV}B_{IV}$  и тринитридных  $A_{III}B_{V}$  диэлектриках. ЦАП-АЦП будут реализованы на фотонах и фононах. Скорости – до 2–3 Тбит/с.

### 5.3. Магнитодинамический терагерцовый сверхэкономичный ДВС-автомобиль (в том числе HEV)

Электромобиль в России, Африке, большинстве стран Южной Америки, на Ближнем Востоке, в Юго-Восточной Азии будет использоваться только на дорогах с твёрдым покрытием. Кроме того, окружающая среда (тропосфера, поверхность Земли) может не выдерживать токсичности Li-технологий.

В этой связи исключительно актуально создание нового поколения ДВС/HEV-двигателей с практически удвоенным КПД с минимальным загрязнением атмосферы. Это реально с применением сверхмагнитной поляризационно-терагерцовой ионизации бензольных и пропановых молекул в камере внутреннего сгорания. Это альтернативные и надёжные технологические решения по сравнению с водородными ДВС.

### 5.4. Бифотонно-фононные терагерцовые компьютеры планшетного типа

Решения на основе квантовой кубитной запутанности фотонов и квантовоточечной фотонной энергетики подробно описаны в [6].

### 5.5. «Черноволновая» система распознавания образов в собственном терагерцовом излучении для искусственного интеллекта и безопасности

Основные концентрированные элементы проекта показаны в публикации [7].

## VI. Риски

Риски, конечно, имеются. К ним относятся:

- «генетическая лысенковщина»;
- кадровый голод, особенно сегодня, в миграционный период;
- активная работа начинающих стартапов конкурентов (фирма «3-5 Power Electronics», г. Дрезден, Германия);
- деятельность Китая в области LPE GaAs технологий (предполагается, что создаётся или создана «Гауссовская» пушка для ВМФ на LPE GaAs/InGaAs-тиристорах);
- охрана от плагиата вновь создаваемого сверхмощного (до сотен патентов РФ) пакета интеллектуальной собственности (для патентования в ЕС и США необходимы \$8–15 тыс. на каждый патент, эти стратегические издержки должно взять на себя государство).

## VII. Заключение

Для ускоренного развития отечественной электроники и национальной монополизации отдельных сегментов мирового рынка необходимо:

- создание МЭП РФ (сегодня отечественная электроника – «дитя у семи нянек»);
- создание прорывной ФЦП по экстремальной электронике, фотонике и фононике с опережением зарубежного уровня на 5–7 лет («твёрдая нефть»);
- изменение закона № 44-ФЗ в пользу программ, опережающих мировой уровень;
- принятие закона «Об инновациях» (не путать с НИОКР) и охране интеллектуальной собственности в электронике, модернизация Патентного закона РФ;

- пересмотр госпрограмм по цифровой экономике (цифровая трансформация, совершенно очевидно, столкнулась с огромными проблемами);
- политическая воля и активное участие государства в новой ФЦП.

## Литература

1. Гордеев А.И. Как завоевать мировой рынок электроники в посткремниевую эпоху? // Современная электроника. 2021. № 5.
2. Гроссе П. Свободные электроны в твердых телах. М.: Мир, 1982.
3. Гордеев А.И. Перспективные терагерцовые поляризованные информационные системы в 2 ч. // Современная электроника. 2016. № 6; № 7.
4. Кукушкин С.А., Оситов А.В. Оптические свойства, зонная структура и проводимость межфазной границы раздела гетероструктуры 3C-SiC(111)/Si(111), выращенной методом замещения атомов // Письма в ЖТФ. 2020. Т. 46, вып. 22.
5. Гордеев А.И., Войтович В.Е., Звонарёв А.В. Новая физическая твердотельная электроника на основе терагерцового расщепления и деформации запрещённой зоны  $LPE_{Si}GaAs_{Si}$ -кристаллов. Ч. 1 // Радиотехника. 2017. № 10.
6. Гордеев А.И., Войтович В.Е., Святец Г.В. Перспективные фотонные и фононные отечественные технологии для терагерцовых микропроцессоров, ОЗУ и интерфейса с сверхнизким энергопотреблением // Современная электроника. 2022. № 2.
7. Вальт Е., Гордеев А., Святец Г. Терагерцовые квантовые технологии для цифровых денег, гиперскоростного SWIFT и безопасного безлюдного банкинга на элементах искусственного интеллекта // Современная электроника. 2021. № 6.



## НОВОСТИ МИРА

### В МИРЕ ПОЯВИЛСЯ ПЕРВЫЙ СУПЕРКОМПЬЮТЕР ЭКСАФЛОПНОГО УРОВНЯ. FRONTIER СОБРАН НА КОМПОНЕНТАХ AMD

Рейтинг суперкомпьютеров Top500 обновился, и в нём появился новый лидер. Причём он более чем вдвое превосходит систему, занимающую второе место.

Итак, самым мощным суперкомпьютером в мире стал Frontier. Эта система установлена в ОкРиджской национальной лаборатории.

Установка, созданная HPE Cray EX, опирается на новейшие процессоры Epyc 64C и ускорители Instinct MI250X, то есть построена на компонентах AMD. Это первый суперкомпьютер эксафлопсного уровня. Его производительность достигает 1,1 exaFLOPS.

Система Fugaku, которая была лидером рейтинга несколько лет, имеет производительность лишь 442 PFLOPS, то есть более чем вдвое меньше. При этом суперкомпьютер LUMI, замыкающий тройку лидеров, почти на порядок отстаёт от Frontier, имея производительность в 151,9 PFLOPS. К слову,



LUMI основан ровно на тех же компонентах, что и Frontier, просто количество CPU и GPU меньше.

[www.ixbt.com](http://www.ixbt.com)